

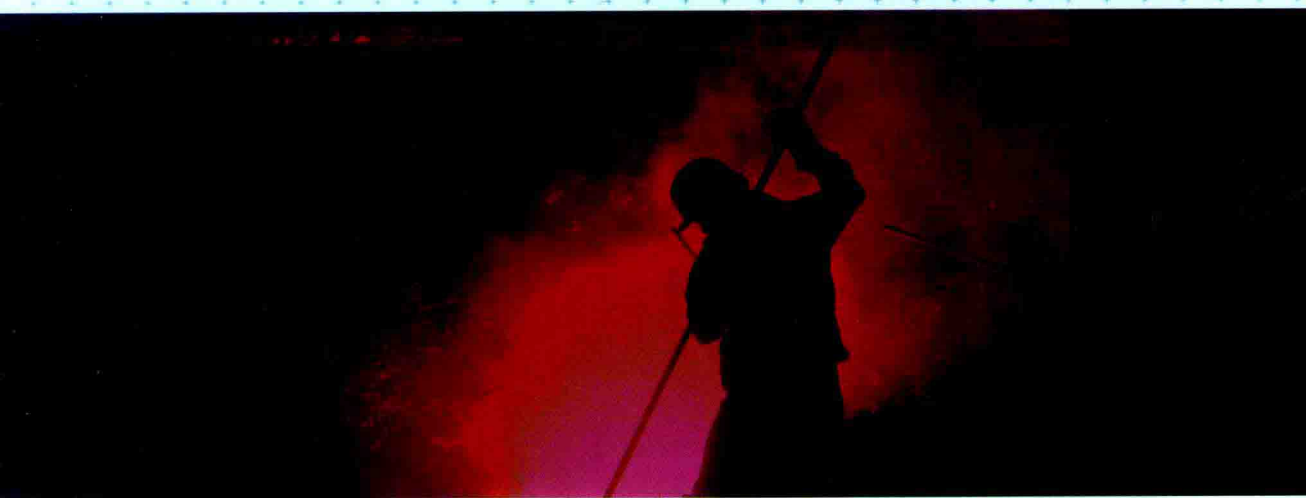


“十二五” 职业教育改革创新示范教材

高炉炼铁技术

GAOLU LIANTIE JISHU

张丰红 © 主编

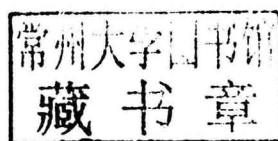


东北师范大学出版社
NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

高炉炼铁技术

主 编 张丰红

副主编 武万明 王学萍



东北师范大学出版社

长 春

图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁技术 / 张丰红主编. —长春: 东北师范大学出版社, 2015. 9
ISBN 978-7-5681-1021-1

I. ①高… II. ①张… III. ①高炉炼铁—高等职业教育—教材 IV. ①TF53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第162401号

☐责任编辑: 韩 烁 ☐封面设计: 吴晋书艺坊
☐责任校对: 黄小凤 ☐责任印制: 刘兆辉

东北师范大学出版社出版发行
长春净月经济开发区金宝街118号(邮政编码: 130117)
电话: 0431-85687213 010-82893125
传真: 0431-85691969 010-82896571
网址: <http://www.nenup.com>
东北师范大学出版社激光照排中心制版
北京瑞富峪印务有限公司印装
北京市海淀区苏家坨镇前沙涧村(邮编: 100194)
2015年9月第1版 2015年9月第1版第1次印刷
幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 22.75 字数: 557千
定价: 49.80元

Preface

前言

本书是编者根据新时期高等职业教育的发展要求,认真总结和充分吸收当前高职院校基于工作过程的课程改革经验,遵循任务驱动的教育理念编写而成。

本书在内容选取上,征求了相关企业工程技术人员的意见,坚持“课程标准与行业规范对接、课程内容与岗位能力对接”的原则,遵循“精简、综合、够用”的原则,围绕培养学生实践技能为目标,将高炉炼铁生产的理论知识与实践操作知识有机融合,实现了“理实一体化”。

书中遵循“由易到难、由基础到综合”的学习规律,安排了走进高炉炼铁、认识铁矿石、高炉造渣、热交换、炉前操作、炉内操作、特殊炉况操作等十六个项目,使初学者能够由未知到了解,最后熟练掌握高炉炼铁生产技术。每个项目根据高炉炼铁生产工艺流程划分了若干个任务,通过每项任务的完成,使学生逐步掌握高炉炼铁生产技术与操作。书中各工作任务是基于工作岗位任务进行开发设计的,使理论知识与生产现场对接,便于学生学习掌握炼铁生产各岗位操作技能。学生通过各工作任务的完成,不但学会了专业知识和技能及学习和工作的方法,同时培养团结协作的社会能力。

本书每个项目都提出了工作任务,设计了活动安排,提供了相关知识,并设计了任务的评价观测点,尤其适合高职院校、高级技校冶金技术专业进行项目化教学。另外,为拓展知识面,满足学习程度较好学生的需要,书中还附录了非高炉炼铁技术作为知识拓展。本书也可作为冶金企业工程技术人员的参考用书。

本书在编写过程中借鉴了炼铁方面的相关文献,在此向有关作者表示感谢。本书还配有习题册,方便学生学习和巩固。

由于作者水平有限,书中不足之处,敬请读者指正。

编 者

2015年3月

Contents

目录

项目一 走进高炉炼铁	1
任务 1.1 认识高炉生产工艺	2
任务 1.2 认识高炉冶炼指标	5
项目二 认识铁矿石	11
任务 2.1 铁矿石及质量评价	12
任务 2.2 铁矿石入炉前的准备与处理	15
项目三 铁矿粉造块	19
任务 3.1 烧结矿生产	20
任务 3.2 球团法生产	25
项目四 燃 料	31
任务 4.1 焦 炭	32
任务 4.2 焦炭生产过程	34
项目五 辅助原料	38
任务 5.1 熔 剂	39
任务 5.2 锰矿石和其他原料	41
项目六 炉料在高炉内的物理状态及变化	44
任务 6.1 高炉解剖研究	45
任务 6.2 炉料的蒸发、挥发和分解	48
项目七 氧化物还原及生铁形成	53
任务 7.1 CO 、 C 、 H_2 还原反应	54
任务 7.2 高炉中非铁元素的还原	62
任务 7.3 铁氧化物还原反应的动力学和生铁的形成	66
项目八 高炉炉渣与脱硫	71
任务 8.1 炉渣的概述	72
任务 8.2 炉渣的性能	74
任务 8.3 造渣过程及其对冶炼过程的影响	78
任务 8.4 生铁去硫	81
项目九 燃料燃烧及热交换	88
任务 9.1 炉缸内燃料的燃烧	89
任务 9.2 理论燃烧温度及燃烧带	94

任务 9.3 煤气上升过程中的变化	101
任务 9.4 热交换	103
项目十 炉料与煤气运动	108
任务 10.1 炉料下降与力学分析	109
任务 10.2 炉料运动与冶炼周期	111
任务 10.3 煤气运动及分布	116
任务 10.4 影响煤气分布的因素	120
项目十一 高炉炼铁计算	126
任务 11.1 配料计算	127
任务 11.2 物料平衡	131
任务 11.3 常用的工艺计算	134
项目十二 高炉强化冶炼	141
任务 12.1 高炉强化冶炼的基本途径	142
任务 12.2 精 料	145
任务 12.3 高压操作	147
任务 12.4 高风温	151
任务 12.5 富氧与综合鼓风	153
任务 12.6 喷吹燃料	156
任务 12.7 低硅生铁的冶炼	159
任务 12.8 高寿命炉衬	160
项目十三 特殊矿石冶炼	162
任务 13.1 钒钛磁铁矿的冶炼	163
任务 13.2 含氟含碱铁矿的冶炼	167
项目十四 炉内操作	171
任务 14.1 基本操作制度	172
任务 14.2 炉况判断与调节	181
任务 14.3 炉况失常及处理	188
项目十五 炉前操作	199
任务 15.1 炉前操作指标	200
任务 15.2 高炉常用耐火材料	203
任务 15.3 出铁操作及设备	210
任务 15.4 高炉放渣操作及设备	237
任务 15.5 特殊炉况的炉前操作	244
项目十六 开炉、休风、复风、封炉、停炉操作	252
任务 16.1 开炉前的准备	253
任务 16.2 休风和复风	259
任务 16.3 封炉操作	265
任务 16.4 停 炉	268
附录 非高炉炼铁	273
1.1 概 述	274
1.2 直接还原法简介	276
1.3 熔融还原法	280
1.4 非高炉炼铁的技术经济指标	285
参考文献	289

项目一 走进高炉炼铁



任务 1.1 认识高炉生产工艺

工作任務

了解钢铁工业在国民经济中的作用和我国的炼铁史；认识现代高炉炼铁生产工艺流程。

活动安排

- (1) 由教师准备相关知识的素材，包括视频、图片。
- (2) 教师引导学生对相关知识进行学习、分组讨论总结。
- (3) 学生小组代表对工作任务完成过程做汇报演讲。
- (4) 采用学生互评，结合教师点评，评价学生参与活动的表现是否积极，是否保质保量地完成工作任务。

知识链接

1.1.1 钢铁工业在国民经济中的作用

材料技术、能源技术和信息技术是构成人类现代文明的三大支柱。材料是人类社会发展的物质基础和先导。国民经济各个部门都离不开金属材料，目前，金属材料包括钢铁材料和有色金属材料两大类，是整个原材料工业体系中的重要组成部分，它与能源工业和交通运输业一样，是构成国民经济的基础产业。由于铁在地壳中占 5%，分布比较集中，适合大量开采和大规模冶炼加工，故在所有金属材料中属于成本低、储量大、用途广和可再生利用的材料。人类开采并利用铁的历史可以追溯到 3 000 多年以前，以铁为主要元素可以生产出各种用途和性能的钢铁产品，这些钢铁产品为人类生活提供了极大的物质财富，钢铁产品作为国民经济重要的基础原材料，是当今世界各国追求工业文明和提高经济实力的重要标志之一。

钢铁是用途最广泛的金属材料，人类使用的金属中，钢铁占 90% 以上。人们生活离不开钢铁，人们从事生产或其他活动所用的工具和设施也都要使用钢铁。钢铁产量往往是衡量一个国家工业化水平和生产能力的重要标志，钢铁的质量和品种对国民经济的其他工业部门产品的质量，都有着极大的影响。钢铁生产工艺流程如图 1-1 所示。

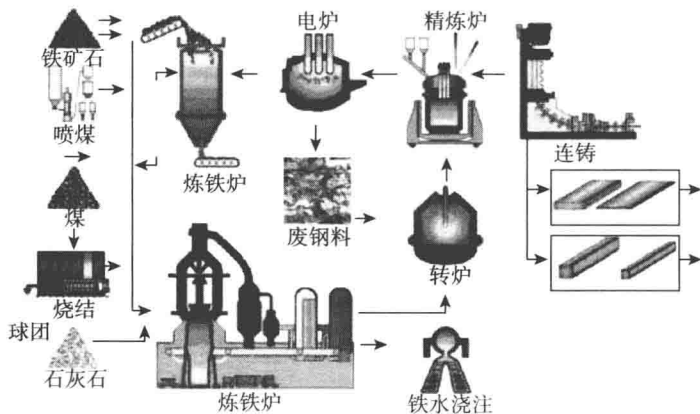


图 1-1 钢铁生产工艺流程图

1.1.2 我国炼铁史

在世界历史上,我国和印度、埃及是用铁最早的国家,也是最早掌握冶炼技术的国家,要比欧洲早 1 900 多年。据史料推测,我国殷代就有了铁器,春秋时期(公元前六七世纪),已采用较大规模的冶铁鼓风炉,发明和掌握了冶铸技术,逐步由青铜器时代过渡到铁器时代,并在农业上逐渐得到了推广。

公元前 200 多年的战国时代,我国掌握了生铁脱碳技术,发明了“自然钢”的冶炼法,造出了非常坚韧而锋利的宝剑。东汉初期,南阳地区已经制造出水力鼓风机,扩大了炼铁生产规模,产量和质量都得到了提高,使炼铁生产向前迈进了一大步。

北宋时期冶铁技术进一步发展,由皮囊鼓风机改为木风箱鼓风,并广泛以石炭(煤)为炼铁燃料,当时的冶铁规模是空前的。在大通(山西交城西北)、徐州的利国、兖州的莱芜(山东莱芜南)、扬州的利安(河南安阳附近)设四监,全国设十二冶、十务、三十五场,经营冶铁业。当时规模最大的冶铁中心——利用监,设有三十六个冶场,工匠约四千人。元朝初年意大利人马可·波罗到了中国,看到了中国用“黑石”作燃料来冶铁,诧为奇事。

冶炼技术在我国的发展,表现了我国古代劳动人民的伟大创造力,有力地促进了我国封建社会的经济繁荣。只是到了 18 世纪,清王朝开始没落,冶铁业和其他各业一样仍然停留在封建作坊的生产形式上。此时,英国爆发了工业革命,进入资本主义初期,使用了蒸汽机带动的鼓风机,不久,英国又用高炉煤气作鼓风预热,使冶铁炉的规模不断扩大,高炉就具有了现代高炉的雏形。

我国修建现代化高炉始于 1891 年,在汉阳建造两座日产百吨生铁的小高炉,以后又在大冶、阳泉等地建了一些小高炉。日本帝国主义侵占我国东北后,为了掠夺我国矿产资源和人力资源,在鞍山、本溪等地建了一些高炉。

新中国成立前,我国的钢铁工业极其落后。产量最高的 1943 年,钢只有 90 万吨,生铁产量只有 180 万吨。建国五十多年来,我国的钢铁工业取得了巨大的成就。1949 年中国的钢铁产量只有 15.8 万吨,居世界第 26 位,不到当时世界钢铁年总产量 1.6 亿吨的 0.1%。在三年经济恢复时期和以后的几个五年计划期间,我国钢铁工业在困境中顽强地前进。到 1978 年,我国钢产量达到 3 178 万吨,居世界第五位,占当年世界钢铁产量的 4.42%。

1979 年以后,我国逐步走上了改革开放和建设社会主义经济的道路,钢铁工业获得了快速发展的极好机遇和强大的内在动力,新建了宝钢、天津钢管等大型现代化钢铁企业。通过对老企业挖潜改造,钢产量以每年 400~500 万吨的速度快速增长。20 世纪 90 年代以来,中国钢铁工业飞速发展,钢产量从 1990 年的 6 535 万吨,以每年增长 600~700 万吨的速度大幅度增长。

1996 年首次超过 1 亿吨大关,跃居世界第 1 位,数量上基本满足了国民经济的需要,扭转了长达 40 年的被动局面。1999 年达到 1.22 亿吨,连续四年居世界各国之首,占世界钢产量的比重从 1949 年的不到 0.1%提高到 15.8%,坐定了产钢大国的地位。

1.1.3 认识现代高炉炼铁生产工艺流程

铁广泛地存在于自然界中,就金属而言,铁在自然界中的贮存量仅次于铝,居第二位(若以地壳中所有元素为 100%,铝占 7.5%,铁占 5.1%)。自然界里的铁元素几乎都是以氧

化物的形式存在于矿石中，如赤铁矿（ Fe_2O_3 ）、磁铁矿（ Fe_3O_4 ）等。高炉冶炼生铁的本质就是从铁矿石中将铁还原出来，并熔化成生铁流出炉外。还原铁矿石需要的还原剂和热量由燃料燃烧产生。炼铁的主要燃料是焦炭，为了节省焦炭，使用了喷吹煤粉、重油、天然气等辅助燃料新工艺过程。随着采矿、选矿和造块等技术的不断发展，现代高炉几乎全部采用了人造富矿（烧结矿、球团矿）作为含铁原料。因炉料特性不同，有的高炉在冶炼时还需加入适量的熔剂（石灰石等）。

在高炉炼铁生产中，高炉是工艺流程的主体，从其上部装入的铁矿石、燃料和熔剂向下运动，下部鼓入空气燃烧燃料，产生大量的还原性气体向上运动，炉料经过加热、还原、熔化、造渣、渗碳、脱硫等一系列物理化学过程，最后生成液态炉渣和生铁。高炉炼铁生产的工艺流程如图 1-2 所示。

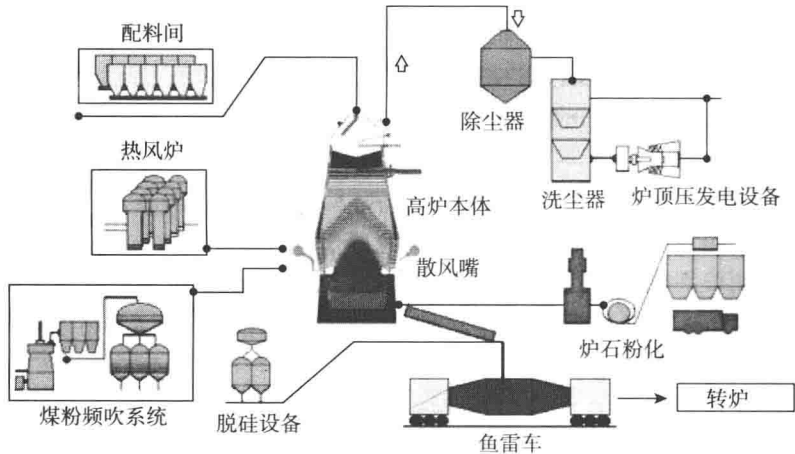


图 1-2 高炉炼铁工艺流程图

高炉是一个竖式圆筒形冶炼炉，由炉基、炉壳、炉衬及冷却设备、支柱或框架组成。用耐火砖或其他耐火材料砌筑成的炉衬形成的高炉内部空间形状称为炉型，一般由上至下分为炉喉、炉身、炉腰、炉腹和炉缸五部分。如图 1-3 所示。

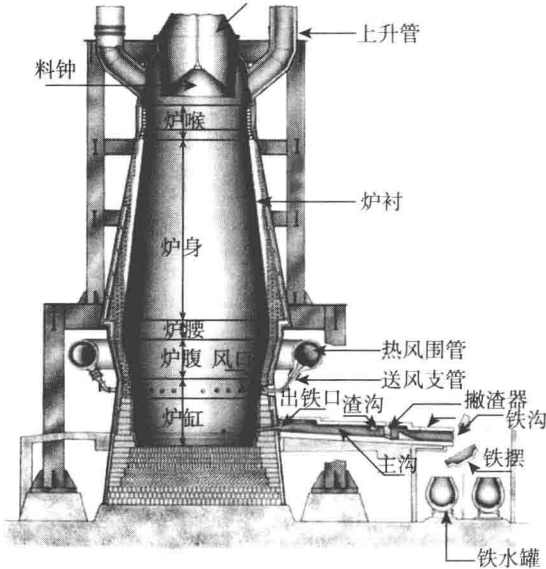


图 1-3 高炉炉型图

以高炉本体为核心，高炉生产还包括以下几个系统。

1. 供料系统：分上料系统和装料系统。

(1) 上料系统：包括贮矿场、贮矿槽、焦炭滚筛、称量漏斗、称量车、料坑、斜桥和卷相机，大型高炉采用皮带机上料。本系统的任务是将原燃料运到炉顶装入受料漏斗。

(2) 装料系统：包括受料漏斗、旋转布料器、大小钟漏斗、大小钟，大小钟平衡杆、探尺。高压操作的高炉还有均压阀和放散阀。本系统的任务是均匀地按工艺要求将上料系统运来的炉料装入炉内。

2. 送风系统：包括鼓风机、热风炉、热风总管、换热器等。本系统的任务是把从鼓风机房送出的冷风加热并送入高炉。

3. 煤气回收及除尘系统：包括煤气上升管、煤气下降管、重力除尘器、洗涤塔、文式管、脱水器、电除尘器，有的高炉用布袋除尘等。高压高炉还有高压阀组。本系统的任务是将炉顶引出的含尘量很高的荒煤气净化成合乎要求的气体燃料。

4. 渣铁处理系统：包括出铁场、泥炮、开口机、炉前吊车、铁水罐、渣水罐、铸铁机、堵渣口机、水渣池及炉前水力冲渣设施等。本系统的任务是定期将炉内的渣铁出净，保证高炉连续生产。

5. 喷吹系统：喷吹系统目前以喷煤系统为主。喷煤系统有制粉机、收集罐、贮存罐、喷吹罐、混合器和喷枪。喷油系统有卸油泵、贮油罐、过滤器、送油泵、稳压罐、调整装置及喷枪。本系统的任务是磨制、收存和计量后把煤粉或重油从风口喷入高炉。

6. 动力系统：该系统包括水、电、压缩空气、氧气、蒸汽等生产供应部门。本系统的任务是为高炉各生产系统提供保障服务。

评价观测点

1. 能否正确介绍我国的炼铁史。
2. 能否正确介绍现代高炉炼铁生产工艺流程。

任务 1.2 认识高炉冶炼指标

工作任务

掌握高炉炼铁的特点和产品以及高炉炼铁的主要技术经济指标。

活动安排

- (1) 由教师准备相关知识的素材，包括视频、图片。
- (2) 教师引导学生对相关知识进行学习、分组讨论总结。
- (3) 学生小组代表对工作任务完成过程做汇报演讲。
- (4) 采用学生互评，结合教师点评，评价学生参与活动的表现是否积极，是否保质保量地完成工作任务。

知识链接

1.2.1 高炉生产特点

1. 生产规模大型化

近年来高炉向大型化发展，目前世界上已有数座 $5\,580\text{ m}^3$ 以上容积的高炉在生产。我

国也已经有 $4\,300\text{ m}^3$ 的高炉投入生产，日产生铁万吨以上，日消耗矿石近 2 万吨，焦炭等燃料 5 千吨。这样每天有数万吨的原、燃料运进和产品输出，还需要消耗大量的水、风、电、气。生产规模及吞吐量如此之大，是其他企业不可比拟的。

2. “高炉生产”是承上启下的重要环节

现代化的钢铁联合企业，都以生产规模相匹配的生产流程为基本形式，高炉处于中间，起着重要的承上启下的作用。因此，高炉工作者应努力防止各种事故，保证联合生产的顺利进行。

3. 长期连续生产

高炉从开炉投产到停炉，一代炉龄一般为十年左右（中间可能进行一次中修）。在此期间是不间断地连续生产的，仅在设备检修或发生事故时才能停止生产（称为休风）。某个环节出现问题，都将影响冶炼过程甚至停产，给企业带来巨大损失。

4. 机械化、自动化程度高

高炉生产的大规模化及连续性，必须有较高的机械化和自动化来保证。为了准确连续地完成每日上万吨原料及产品的装入和排出，为了改善劳动条件，保证安全，提高劳动生产率，目前上料系统朝着皮带化方向发展，电子计算机、工业电视等均已装备高炉生产的各个系统，机械化、自动化程度越来越高。

1.2.2 高炉冶炼产品

高炉生产的主要产品是生铁，副产品有炉渣、煤气和炉尘。生铁、钢和熟铁都是铁碳合金，它们的主要区别是含碳量不同，含碳量小于 $0.021\,8\%$ 的为熟铁，含碳量小于 2.11% ，大于 $0.021\,8\%$ 的为钢，含碳量大于 2.11% 以上的为生铁。高炉生铁含碳量为 4% 左右。

1. 生 铁

生铁组成以铁为主，此外含碳质量分数为 $2.5\%\sim 4.5\%$ ，并有少量的硅、锰、磷、硫等元素。

生铁质硬而脆，缺乏韧性，不能延压成型，机械加工性能及焊接性能不好，但含硅高的生铁（灰口铁）的铸造及切削性能良好。

生铁按用途又可分为普通生铁和合金生铁。普通生铁包括炼钢生铁和铸造生铁，它们的主要区别是含硅量不同。后者合金生铁主要是锰铁和硅铁。我国现行生铁标准如表 1-1、1-2 所示。

表 1-1 炼钢生铁的国家标准 (GB/T 717 - 1998)

铁 号	牌 号		炼 04	炼 08	炼 10
	代 号		L04	L08	L10
	C		≥ 3.5		
化学成分 (质量分数) /%	Si		≤ 0.45	$> 0.45 \sim 0.85$	$> 0.85 \sim 1.25$
	Mn	1 组	≤ 0.40		
		2 组	$> 0.40 \sim 1.00$		
		3 组	$> 1.00 \sim 2.00$		
	P	特级	≤ 0.100		
		1 级	$> 0.100 \sim 0.150$		

续 表

化学成分 (质量分数) /%	P	2 级	$>0.150\sim0.250$
		3 级	$>0.250\sim0.400$
	S	特类	≤ 0.020
		1 类	$>0.020\sim0.030$
		2 类	$>0.030\sim0.050$
		3 类	$>0.050\sim0.070$

表 1-2 铸造生铁的国家标准 (GB718-82)

铁 号	牌 号		铸 34	铸 30	铸 26	铸 22	铸 18	铸 14
	代 号		Z34	Z30	Z26	Z22	Z18	Z14
化学成分 (质量分数) /%	C		>3.3					
	Si		$>3.2\sim3.6$	$>2.8\sim3.2$	$>2.4\sim2.8$	$>2.0\sim2.4$	$>1.6\sim2.0$	$>1.25\sim1.6$
	Mn	1 组	≤ 0.50					
		2 组	$>0.50\sim0.90$					
		3 组	$>0.90\sim1.30$					
	P	1 级	≤ 0.06					
		2 级	$>0.06\sim0.10$					
		3 级	$>0.10\sim0.20$					
		4 级	$>0.20\sim0.40$					
		5 级	$>0.40\sim0.90$					
	S	1 类	≤ 0.03					
		2 类	≤ 0.04					
		3 类	≤ 0.05					

铁合金多用电炉生产，主要供炼钢氧或作为合金添加剂，少量高碳品种铁合金。

锰铁：高炉冶炼的高碳铁合金中，我国生产最多的是锰铁。我国高碳锰铁的国家标准如表 1-3 所示。

表 1-3 高碳锰铁的国家标准 (GB4007—1983)

类 别	牌 号	化学成分/%						
		Mn	C	Si		P		S
				1 组	2 组	I 级	Ⅱ 级	
		不小于	不大于					
高 碳	FeMn 75C 7.5	75.0	7.5	1.5	2.5	0.20	0.33	0.33
	FeMn 70C 7.0	70.0	7.0	2.0	3.0		0.38	
	FeMn 65C 7.0	65.0	7.0	2.5	4.5		0.40	

硅铁除作为炼钢用脱氧剂和合金添加剂外，还可作为用 C 元素难以还原的金属元素的还原剂（即所谓“硅热法”）。一般情况下，从硅的利用率及总的经济效益考虑，使用电炉生产的 Si 的质量分数高达 75% 以上的硅铁较为合理，但在某些特殊场合下，如铸造生铁的增硅，因所需的 Si 量较少，可以用品位较低的高炉硅铁。

2. 炉 渣

矿石的脉石和熔剂、燃料灰分等熔化后组成炉渣，其主要成分为 CaO 、 MgO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 及少量的 MnO 、 FeO 、 S 等。每吨生铁的炉渣量为 $150\sim 300\text{ kg}$ 。

炉渣有许多用途。液态炉渣用急冷水淬成水渣，是良好的制砖和制水泥原料。液态炉渣用高压蒸汽或高压压缩空气吹成渣棉，可作绝热材料。冷凝后的干渣也是制砖和生产水泥的原料，还可以制成其他建筑材料。

3. 高炉煤气

每冶炼 1 吨生铁约产生 $1\,700\sim 2\,500\text{ m}^3$ 煤气，其化学成分有 CO_2 ($15\%\sim 20\%$)、 CO ($20\%\sim 30\%$)、 H_2 ($1\%\sim 3\%$)、 N_2 ($56\%\sim 58\%$) 和少量的 CH_4 ，经除尘后能成为很好的低热值气体燃料，发热值一般为 $2\,900\sim 3\,800\text{ kJ/m}^3$ 。高炉煤气是无色无味透明的气体，由于含 CO 较高，会使人中毒致死。当煤气与空气混合，煤气含量达到 $46\%\sim 62\%$ ，温度达到着火点 ($650\text{ }^\circ\text{C}$) 时，就会发生爆炸。因此，在煤气区域工作时，要特别注意防火、防爆和煤气中毒。

先进的高炉煤气的化学能得到充分的利用。其 CO 的利用率 $\left[\eta_{\text{CO}}=\frac{\phi(\text{CO}_2)}{\phi(\text{CO}+\text{CO}_2)}\right]$ 可超过 50% ，即煤气 $\phi(\text{CO})$ 可低于 21% ，而 $\phi(\text{CO}_2)$ 比之稍高。但高炉冶炼铁合金时，煤气中 $\phi(\text{CO}_2)$ 几乎为零。

不同冶炼条件下煤气成分及发热量如表 1-4 所示。

表 1-4 不同铁种时煤气成分及发热量

铁 种		炼钢生铁	铸造生铁	锰 铁
成 分				
体 积 / %	CO	21~26	26~30	33~36
	H_2	1.0~2.0	1.0~2.0	2.0~3.0
	CH_4	0.2~0.8	0.3~0.8	0.2~0.5
	CO_2	14~21	11~14	4~6
	H_2	55~57	58~60	57~60
低位发热量 / $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$		3 000~3 800	3 600~4 200	4 600~5 000

4. 炉 尘 (瓦斯灰)

炉尘是随高速上升的煤气带出高炉的细颗粒炉料，在除尘系统与煤气分离。炉尘中含铁 $30\%\sim 45\%$ ，含碳 $8\%\sim 20\%$ ，每冶炼一吨生铁约产生 $10\sim 150\text{ kg}$ 炉尘。炉尘回收后可作为烧结原料，也可制作水泥。

1.2.3 高炉炼铁的主要技术经济指标

对高炉生产的技术水平和经济效益的总要求是高产、优质、低耗、长寿和安全。主要指标有：

1. 高炉有效容积利用系数 (η_v)：高炉有效容积利用系数是指每昼夜、每立方米高炉有效容积的生铁产量，即高炉每昼夜的生铁产量与高炉有效容积之比。

$$\eta_v = \frac{P}{V_u} \quad \text{t} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

式中 η_v ——每立方米高炉有效容积在一昼夜内生产铁的吨数；

P ——高炉一昼夜生产的合格生铁；

V_u ——高炉有效容积，指炉缸、炉腹、炉腰、炉身、炉喉五段之和。

η_v 是高炉冶炼的一个重要指标， η_v 越大，高炉生产率越高。

目前，一般大型高炉超过 2.0，一些先进高炉可达到 2.2~2.3。小型高炉的 η_v 更高，100~300 m³ 高炉的利用系数为 2.8~3.2。随着炼铁技术的发展，现在小高炉的利用系数已达 4.0 以上。如酒钢 450 m³ 高炉利用系数曾达到过 4.2 以上。

2. 焦比 (K)：焦比是指冶炼每吨生铁消耗的焦炭量，即每昼夜焦炭消耗量与每昼夜生铁产量之比。

$$K = \frac{Q_k}{P} \quad \text{kg/t Fe}$$

式中 K ——一吨生铁消耗的焦炭量，kg；

Q ——高炉一昼夜消耗的干焦量，kg。

焦炭消耗量约占生铁成本的 30%~40%，欲降低生铁成本必须力求降低焦比。焦比大小与冶炼条件密切相关，一般情况下焦比为 450~500 kg/t Fe，喷吹煤粉可以有效地降低焦比。

3. 煤比 (Y)：冶炼每吨生铁消耗的煤粉量称为煤比。当每昼夜煤粉的消耗量为 Q_Y 时，则：

$$Y = \frac{Q_Y}{P} \quad \text{kg/t Fe}$$

喷吹其他辅助燃料时的计算方法类同，但气体燃料应以体积 (m³) 计量。

单位质量的煤粉所代替的焦炭的质量称为煤焦置换比，它表示煤粉利用率的高低。一般煤粉的置换比为 0.7~0.9。

4. 综合焦比 $K_{综}$ ：综合焦比是将冶炼一吨生铁所喷吹的煤粉或重油量乘上置换比 (R) 折算成干焦炭量，在与冶炼一吨生铁所消耗的干焦炭量相加即为综合焦比。

$$K_{综} = (Q_K + Q_Y \times R) / P$$

5. 综合燃料比 $K_{燃}$ ：综合燃料比指冶炼一吨生铁消耗的焦炭和喷吹燃料的数量之和。

$$K_{燃} = (Q_K + Q_Y) / P$$

目前我国喷吹高炉的焦比一般低于 450 kg/t，燃料比小于 550 kg/t。先进高炉焦比已小于 400 kg/t，燃料比约 450 kg/t。

6. 冶炼强度 (I)：分为焦炭冶炼强度 ($I_{焦}$) 和综合冶炼强度 ($I_{综}$)

焦炭冶炼强度是每昼夜、每立方米高炉有效容积燃烧的焦炭量，即高炉一昼夜焦炭消耗量 (Q_K) 与有效容积 (V_u) 的比值：

$$I = \frac{Q_K}{V_u} \quad \text{t/m}^3 \cdot \text{d}$$

综合冶炼强度：当高炉喷吹燃料时，每昼夜每立方米高炉有效容积消耗的燃料总量。

冶炼强度表示高炉的作业强度，它与鼓入高炉的风量成正比，在焦比不变的情况下，冶炼强度越高，高炉产量越大，当前国内外大型高炉一般为 1.05 左右。

7. 生铁合格率：化学成分符合国家标准生铁称为合格生铁，合格生铁占总产生铁量的百分数为生铁合格率。它是衡量产品质量的指标。

$$\text{生铁合格率} = \frac{\text{合格生铁量}}{\text{生铁总产量}} \times 100\%$$



8. 生铁成本：生产一吨合格生铁所消耗的所有原料、燃料、材料、水电、人工等一切费用的总和，单位为元/吨。其中原燃料成本费占 80% 左右，冶炼成本费占 20% 左右，降低焦炭消耗是降低成本的重要内容。

9. 休风率：休风率是指高炉休风时间占高炉规定作业时间的百分数。休风率反映高炉设备维护的水平，先进高炉休风率小于 1%。实践证明，休风率降低 1%，产量可提高 2%。

$$\text{休风率} = \frac{\text{休风时间}}{\text{日历时间} - \text{计划检修时间}} \times 100\%$$

10. 高炉一代寿命：高炉一代寿命是从点火开炉到停炉大修之间的冶炼时间，或是指高炉相邻两次大修之间的冶炼时间。大型高炉一代寿命为 10~15 年，国外大型高炉炉龄最长已达 20 年。

评价观测点

1. 能否正确介绍高炉炼铁的一般工艺流程及各系统的作用。
2. 能否正确介绍钢和铁的区别。
3. 能否正确介绍高炉冶炼的主副产品及各自用途。
4. 能否正确阐述高炉有效容积利用系数、焦比、冶炼强度、休风率、综合焦比、综合燃料比的概念。

项目二 认识铁矿石